



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STUDIE PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY

FEASIBILITY STUDY OF THE PUMPED STORAGE POWER STATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Školník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Martin Školník
Název	Studie přečerpávací vodní elektrárny
Vedoucí práce	doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- Odborná literatura a předpisy z oboru využití vodní energie, hydrauliky, hydrologie a energetiky.
- Specifikace základních parametrů navrhované PVE.
- Firemní materiály dodavatelů stavební a technologické části.
- Mapové podklady.
- Výkresová dokumentace.
- Hydrologické údaje.
- Měření provozních veličin.
- Manipulační řady.
- Územně plánovací dokumentace.
- Geologické podklady.
- Fotodokumentace zájmové lokality.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem práce je zpracování studie přečerpávací vodní elektrárny (PVE) v lokalitě Střekov na Labi. Řešení bude vycházet ze specifikace základních parametrů PVE (viz podklady) a bude zahrnovat zpracování jedné varianty stavební a technologické části PVE. Výstupy práce budou obsahovat tyto přílohy:

- průvodní a technická zpráva,
- situace širších vztahů,
- celková situace PVE,
- situace stavebních objektů PVE,
- řezy stavebními objekty PVE,
- hydraulické a hydroenergetické výpočty,
- fotodokumentace.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá studií přečerpávací vodní elektrárny. Návrh je rozčleněn na tři části – horní nádrž s vtokovým objektem, tlakový přivaděč s kabelovou chodbou a strojovnu PVE se čtyřmi Francisovými reverzními turbínami. Studie obsahuje průvodní a technickou zprávu, hydraulické výpočty, fotodokumentaci a výkresovou dokumentaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přečerpávací vodní elektrárna, vodní turbína, tlakový přivaděč, zemní hráz, vodní nádrž

ABSTRACT

This master's thesis deals with the feasibility study of the pumped-storage hydro-power plant. Design is divided into three parts – upper water-reservoir with water intake, penstock with cable tunnel and mechanical room with four Francis reversible turbine. Study contains engineering report, hydraulic calculations, photodocumentation and drawing documentation.

KEYWORDS

Pumped-storage hydropower plant, water turbine, penstock, earth-fill embankment, water reservoir

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Martin Školník Studie přečerpávací vodní elektrárny. Brno, 2018. 34 s., 19 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2018

Bc. Martin Školník
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu doc. Ing. Aleši Drábovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady při zpracování této diplomové práce.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STUDIE PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY

FEASIBILITY STUDY OF THE PUMPED STORAGE POWER STATION

A.1 PRŮVODNÍ A TECHNICKÁ ZPRÁVA

BRNO 2018

OBSAH

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE	11
1.1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY PVE	11
1.2. CÍLE PRÁCE.....	11
2. PŘEHLED VÝCHOZÍCH PODKLADŮ	12
3. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉ LOKALITY.....	13
3.1. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ	13
3.2. VD STŘEKOV.....	13
3.2.1. Jezová zdrž	13
3.2.2. Jez.....	15
3.2.3. Plavební zařízení.....	15
3.2.4. Rybí přechod	16
3.2.5. Vodní elektrárna	16
3.3. HYDROLOGICKÉ ÚDAJE.....	17
3.4. GEOGRAFICKÉ PODKLADY	18
3.5. GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ PODKLADY	18
4. NAVRŽENÉ TECHNICKÉ ŘEŠENÍ	20
4.1. ÚČEL A POPIS STAVBY	20
4.2. ČLENĚNÍ STAVBY.....	22
5. POPIS STAVEBNÍCH ČÁSTÍ PVE.....	23
5.1. SSO 01 – HORNÍ NÁDRŽ A VTOKOVÝ OBJEKT	23
5.2. SSO 02 – TLAKOVÝ PŘIVADĚČ A KABELOVÁ CHODBA.....	24
5.3. SSO 03 – STROJOVNA.....	24
6. POPIS TECHNOLOGICKÝCH ČÁSTÍ PVE	27
6.1. PS 01 – STROJNÍ ČÁST – HORNÍ NÁDRŽ	27
6.2. PS 02 – ELEKTROČÁST – HORNÍ NÁDRŽ	27
6.3. PS 03 – STROJNÍ ČÁST – STROJOVNA PVE	27
6.4. PS 04 – ELEKTROČÁST – STROJOVNA PVE	29
7. ZÁVĚR.....	31

8.	SEZNAM TABULEK	32
9.	SEZNAM OBRÁZKŮ	33
10.	SEZNAM PŘÍLOH	34

1. Úvod a cíle práce

1.1. Úvod do problematiky PVE

Přečerpávací vodní elektrárna je typ vodní elektrárny, která umožňuje hydraulickou akumulaci energie. Využívá přebytečné energie při nižším zatížení elektrické sítě pro čerpání vody z dolní nádrže do horní nádrže. V době špičkového zatížení elektrické soustavy voda protéká přes turbínu zpět do dolní nádrže, čímž se zhodnocuje dříve vyrobená energie. V současné době je to jediný efektivní způsob, jak uchovat větší množství přebytečné elektrické energie. Tím se předchází problémům s výkyvy ve spotřebě elektrické energie. U novějších PVE je účinnost malého cyklu až 0,75.

Dělení podle základního uspořádání:

- PVE se sekundární umělou akumulací
Horní nádrž PVE je bez přirozeného přítoku a koloběh vody mezi horní a dolní nádrží je uzavřen.
- PVE se smíšenou akumulací
Horní nádrž je umístěna na vodním toku a má tak vlastní přítok.

1.2. Cíle práce

Cílem této diplomové práce je vypracování studie přečerpávací vodní elektrárny v lokalitě Střekov na řece Labi v ř. km. 769,179, ve variantě se čtyřmi Francisovými reverzními turbínami s průměrem oběžného kola 2330 mm. Studie obsahuje návrh strojovny PVE, horní nádrže, vtokového objektu a tlakového přivaděče.

2. Přehled výchozích podkladů

- [1] DRÁB, A. *PVE PODLEŠÍN – Možnosti hydroenergetického využití lokality*. Brno: FAST, VUT v Brně, 2016.
- [2] ŠTOLL, Č., S. KRATOCHVIL a M. HOLATA. *Využití vodní energie*. Praha: SNTL/ALFA, 1977.
- [3] *Manipulační řád pro vodní dílo Střekov na Labi, ř. km 767,679*. Povodí Labe, státní podnik. Hradec Králové, září 2012.
- [4] HOLATA, M., GABRIEL, P. (ed.). *Malé vodní elektrárny: projektování a provoz*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.
- [5] BROŽA, V., P. GABRIEL, F. ČIHÁK, J. KUČEROVÁ a A. PROCHÁZKA. *Využití vodní energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1990.
- [6] CHMELÁR, V. *Prečerpávací vodná elektrárna Čierný váh*. Bratislava: Alfa, 1984.
- [7] KOPŘIVA, M., M. URBÁŠEK, P. SKLENÁŘ, V. OCHOTNÝ, P. MICHÁLEK, Č. HÖLL a J. HÖLL. *Prečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně*. Šumperk: Reklamní studio PVT, 1997.
- [8] *Das Kraftwerk im Berg: die Baugeschichte des Pumpspeicherwerks Limberg II*. St. Pölten - Salzburg: Residenz, 2011. ISBN 978-3-7017-3240-1.
- [9] ČÁBELKA, J. *Využitie vodnej energie I*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, n. p., 1958.
- [10] *3D webová služba DMR 5G* [online]. Praha: ČÚZK, 2017 [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <http://ags.cuzk.cz/arcgis/rest/services/3D/dmr5g/ImageServer>
- [11] *Prohlížeč služba WMS - Ortofoto* [online]. Praha: ČÚZK, 2017 [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx
- [12] *Prohlížeč služba WMS - ZM 25* [online]. Praha: ČÚZK, 2017 [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM25_PUB/WMSservice.aspx
- [13] *SEZNAM. Mapy Seznam* [online]. 2016 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: www.mapy.cz

3. Charakteristika zájmové lokality

3.1. Charakteristika území

Zájmové území se nachází pod hradem Střekov, na levém břehu řeky Labe ve zdrži Střekovského zdymadla (známého také jako Masarykovo zdymadlo nebo také zdymadlo T. G. Masaryka) ve městě Ústí nad Labem. Důvodem vybudování vodního díla Střekov bylo splavnění řeky Labe v místě Střekovských peřejí a v současnosti se jedná o poslední umělý jez na Labi v České republice a současně jde také o předposlední umělý jez před zaústěním Labe do moře.

Ústí nad Labem leží na severozápadě Čech v Ústeckém kraji a je jeho krajským městem. Bylo vybudováno v údolí mezi pohořím Krušných hor na západní straně a Českým středohořím na straně jihovýchodní, na soutoku řek Labe a Bíliny. Nachází se zde významná křižovatka železnic, silniční trasy Praha – Drážďany a vodní dopravy po řece Labi.

Zájmové území zasahuje do třech sídelních útvarů. Návrh horní nádrže je z převážné části situována do sídelního útvaru Stebno, část Podlešín v katastrálním území 755401 – Podlešín u Stebna a okrajově zasahuje do sídelního útvaru Chvalov, katastrální území 630373 – Chvalov. V sídelním útvaru Ústí nad Labem, části Vaňov, katastrálního území 776807 – Vaňov je navržena stavba strojovny a vtokového objektu.

3.2. VD Střekov

Údaje jsou převzaty z manipulačního řádu vodního díla Střekov^[3]. Nejdůležitějším účelem vodního díla Střekov je zajištění dostatečných plavebních hloubek pro plavbu v jezové zdrži a zajištění stálého odtoku v profilu pod jezem. V případě malých hloubek v profilu pod Střekovem se pro zajištění splavnosti využívá vlnování, při kterém dochází k nárazovému zvýšení průtoku a vytvoření vlny, po které jsou lodě schopny plavby. Dalším účelem vodního díla je využití hydroenergetického potenciálu spádu pomocí průtočné vodní elektrárny, zajištění odběrů povrchové vody a rekreace.

3.2.1. Jezová zdrž

Vzdutá hladina jezové zdrže dosahuje až po vodní dílo Lovosice, které se nachází v ř. km 787,543. Její celková délka činí 19,864 km.

Na pravém břehu, v ř. km 783,85 se do jezové zdrže zaústí vjezd do bývalého šterkopískového lomu, který se v současnosti nazývá Píšťanské nebo také Žernosecké jezero. Nachází se mezi obcemi Velké Žernoseky a Píšťany a jeho hladina je s určitou časovou prodlevou, která je způsobena omezenou kapacitou koryta mezi zdrží a jezerem, závislá na hladině vody v jezové zdrži.

Při krátkodobém hospodaření s vodou v jezové zdrži a v rozmezí provozního objemu zdrže se uvažuje pouze s charakteristikami vlastního koryta toku. Kapacita šterkopískového lomu je uvažována pouze při napouštění a vypouštění jezové zdrže.

Z důvodů plavby v jezové zdrži je minimální hladina na kótě 140,40 m n. m. Maximální hladina je na kótě 141,45 m n. m. a při jejím překročení, nejčastěji vlivem povodňových průtoků, dochází k postupnému vyhrazování jezových polí tak, aby hladina ve zdrži nepřekračovala maximální hladinu. Při dosažení průtoku $1170 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a předpokládané stoupající tendenci dochází k úplnému vyhrazení jezových polí.

V případě nižších průtoků pod jezem Střekov dochází k vlnování, během kterého dochází k dočasnému vyhrazení jezových polí, za účelem nárazového zvýšení vodní hladiny zajišťující dostatečnou plavební hloubku v úseku Labe pod Střekovem.

Tab. 1 Základní charakteristiky jezové zdrže při hydrostatické hladině^[3]

Prostor	Od	Do	Objem	Plocha
	[m n. m.]	[m n. m.]	[mil. m ³]	[mil. m ³]
Jezová zdrž				
Po minimální provozní hladinu	131,60	140,40	12,477	310
Od minimální provozní hladiny po maximální provozní hladinu	140,40	141,45	3,373	332
Celkový ovladatelný prostor	131,60	141,45	15,850	332
Píšťanské (Žernosecké) jezero				
Celkový ovladatelný prostor	138,80	141,45	2,700	105
Jezová zdrž včetně Píšťanského (Žernoseckého) jezera				
Po dno vjezdu do lomu	131,60	138,80	7,827	262
Od dna vjezdu po min. provozní hladinu	138,80	140,40	6,208	346
Od minimální provozní hladiny po max. provozní hladinu	140,40	141,45	4,515	437
Celkový ovladatelný prostor	131,60	141,45	18,550	437

3.2.2. Jez

Jez Střekov je rozdělen na 4 pole o světlosti 24,00 m a každé pole je hrazeno pomocí dvou tabulí typu Stoney s maximální hradicí výškou 10,90 m. Spodní stavba je přemostěna krytou manipulační lávkou a veřejnou komunikační lávkou, která umožňuje přechod na druhou stranu toku.

Horní tabule je vysoká 5,30 m a spouští se za spodní tabuli vysokou 5,90 m. Těsnění mezi tabulemi a na dosedacím prahu je tvořeno opracovanými dubovými trámcí. Zdvihadla, která jsou umístěna v kryté manipulační lávce, obstarávají pohyb tabulí pomocí Gallových řetězů.

Tab. 2 Významé údaje jezu Střekov^[3]

Celková šířka jezu s pilíři	111,00 [m]
Počet jezových otvorů	4
Světlost jezových otvorů	24,00 [m]
Maximální hrazená výška	10,90 [m]
Maximální povolené vzdutí (při hladině 141,45 m n. m.)	9,75 [m]
Šířka pilířů (říčních)	5,00 [m]
Šířka pilířů (velká plavební komora)	8,40 [m]
Výška pilířů nade dnem (nad kótou 131,70 m n. m.)	24,40 [m]
Kóta jezového prahu	131,70 [m n. m.]
Kóta přelivné hrany horní tabule vztyčeného jezu	142,60 [m n. m.]
Průtočná kapacita jezu při hladině 141,45 m n. m. a 3 polích	2120 [m ³ .s ⁻¹]
Průtočná kapacita jezu při hladině 141,45 m n. m. a 4 polích	2670 [m ³ .s ⁻¹]
Průtočná kapacita jezu při hladině 141,45 m n. m., 4 polích a VPK	3000 [m ³ .s ⁻¹]

3.2.3. Plavební zařízení

Na pravém břehu v úrovni osy jezu se nacházejí dvě plavební komory. Horní vrata velké plavební komory jsou tvořena tabulovými uzávěry stejného typu, jako jsou použita u jezu (Stoney), pouze přelivná hrana není upravena pro trvalé převádění vody. Plavební komora může být v případě nutnosti použita jako páté jezové pole pro převádění velkých vod.

3.2.4. Rybí přechod

Rybí přechod je tvořen 27 komůrkami a jeho celková délka je 253 m. Vtok se nachází v dělicím pilíři mezi jezem a vodní elektrárnou. Pokračuje dělicím pilířem až na úroveň povodní hrany budovy rozvodny a odtud je veden pomocí ocelového žlabu až do opěrné zdi na levém břehu, kde je vyústěn do dolní vody.

3.2.5. Vodní elektrárna

Vodní elektrárna se nachází v zářezu na levém břehu toku a je tvořena těmito objekty:

- přívodní kanál s jemnými česlemi a nornou stěnou,
- spodní stavba,
- rozvodna,
- železobetonová manipulační lávka,
- veřejná železobetonová komunikační lávka.

Ve spodní stavbě jsou umístěny tři turbínové bloky s Kaplanovými turbínami o maximální hltlosti $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Generátory jsou zakryty kruhovými plechovými poklopy a spolu s turbínami se nacházejí v ose jezu. Vodní elektrárna je bez horní stavby.

Při dosažení celkového průtoku tokem $1170 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dochází k úplnému odstavení turbín z důvodu nedostatečného spádu v toku.

Tab. 3 Základní údaje a kóty vodní elektrárny^[3]

Maximální hltlost turbín	3 x 100 [m ³ .s ⁻¹]
Maximální spád	8,60 [m]
Minimální spád	3,00 [m]
Maximální výkon generátoru	3 x 8,7 [MVA]
Instalovaný výkon generátoru	3 x 6,5 [MW]
Dosažitelný výkon generátoru	15 [MW]
Průměrná roční výroba	80 – 100 [10 ⁶ kWh]
Kóta osy oběžného kola	133,525 [m n. m.]
Kóta 1. nadzemního podlaží	146,10 [m n. m.]
Kóta 2. nadzemního podlaží	150,10 [m n. m.]
Dno savky v nejhlubším místě	124,60 [m n. m.]

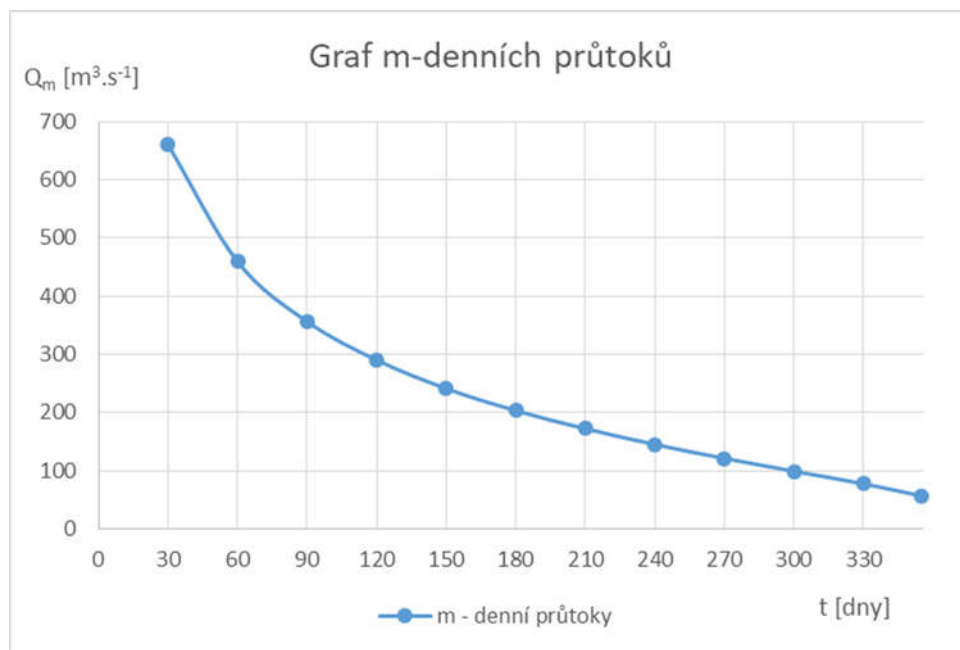
3.3. Hydrologické údaje

Údaje byly převzaty z dopisu ČHMÚ adresovanému Povodí Labe, který je součástí manipulačního řádu^[3].

Tok:	Labe
Hydrologické číslo povodí:	1 – 13 – 05 – 021
Profil:	nad Bílinou
Plocha povodí [km ²]	48 541,149
Průměrná dlouhodobá roční výška srážek [mm]:	670
Průměrný dlouhodobý roční průtok [m ³ .s ⁻¹]:	293,0
Třída:	II.

Tab. 4 Hodnoty m-denních průtoků v profilu jezu Lovosice^[3]

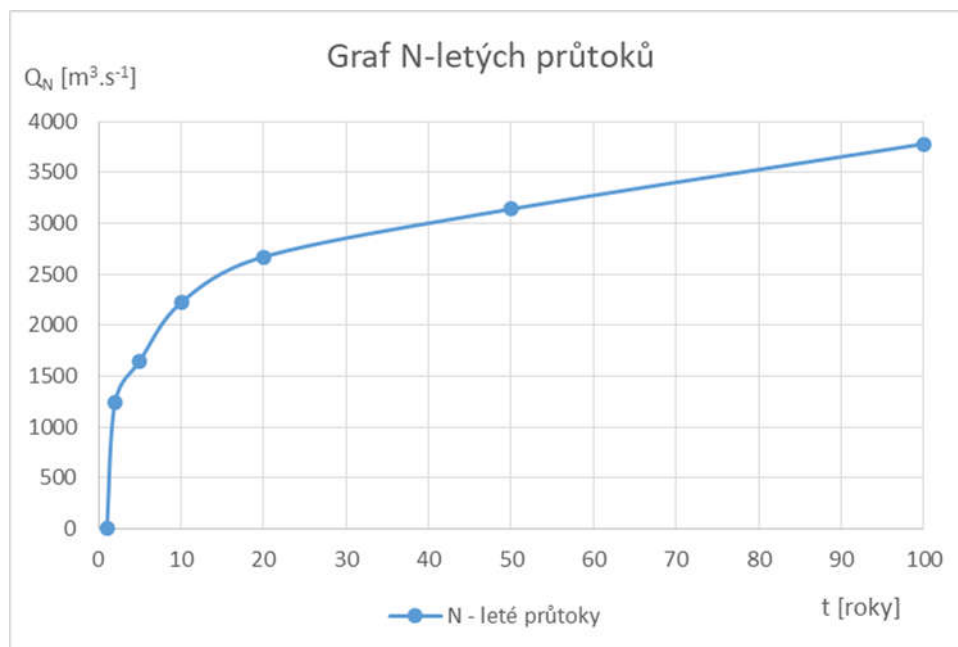
t [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q _m [m ³ .s ⁻¹]	660	459	356	290	241	203	172	145	121	99.0	77.2	56.2	43.9



Obr. 1 Graf m-denních průtoků

Tab. 5 Hodnoty N-letých průtoků v profilu jezu Lovosice^[3]

t [roky]	1	2	5	10	20	50	100
Q_N [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	1240	1650	2220	2670	3140	3780	4290



Obr. 2 Graf N-letých průtoků

3.4. Geografické podklady

Pro zpracování výkresové dokumentace byla použita služba Geoportálu ČÚZK. Nejdůležitějším podkladem byl digitální model terénu^[10], z kterého se vycházelo při návrhu horní nádrže a tlakového přivaděče. Dále byla využita ortofoto mapa^[11] a Základní mapa ČR^[12].

3.5. Geologické a hydrogeologické podklady

V rámci zpracování diplomové práce nebyl proveden geologický ani hydrogeologický průzkum. Uvedené údaje jsou převzaty z podkladů^[1].

Nejvyšší vrstvy jsou zde tvořeny deluviálními sedimenty – hlíny písčité s příměsí úlomků vyvřelých hornin. Podle archivních vrtů je mocnost vrstvy mezi 2,4 až 7,5 m.

V prostoru zátopy horní nádrže je téměř souvislá vrstva kvarterních svahových hlín a jsou popsány jako hnědé až šedohnědé hlíny jílovité pevné konzistence mocnosti 2,4 až 7,5 m s příměsí úlomků tufických hornin a písku V podloží hlín se nachází proklastika –

bentonit (mocnost až 10 m) a tufit a střídají se s rozpukavým až celistvým čedičem s mocností až desítky metrů.

V místě strojovny PVE se vyskytují hlavně fluviální sedimenty – navážky s mocností 3 až 8 m tvořené štěrkem, kameny a balvany. Ve větší hloubce se vyskytují Labské štěrky hrubé až balvanité, písčité, tvořené opracovanými valouny čediče, s mocností 20 až 25 m. Pod balvanitými štěrky se vyskytují neogenní slínovce a tufty s mocností 5 m. Podzemní voda byla zjištěna v hloubce 2,5 až 3,5 m pod terénem a závisí na průtoku v Labi.

4. Navržené technické řešení

4.1. Účel a popis stavby

Účelem stavby přečerpávající vodní elektrárny je využití hydroenergetického potenciálu dané lokality pro výrobu a akumulaci elektrické energie. Vzhledem k členitosti zájmového území se daná lokalita jeví jako vhodná pro výstavbu přečerpávací elektrárny (PVE), neboť je zde možné dosáhnout hrubého spádu až 317 m s relativně malou délkou přivaděče. Jako dolní nádrž je uvažována jezová zdrž Střekovského zdymadla, která zajišťuje dostatečnou hloubku pro ponoření vtokového objektu a objem ovladatelného prostoru, který by mohl být využit pro uchování v horní nádrži, 3,37 mil. m³. Pokud započítáme i objem Žernošeckého jezera je objem zdrže 4,52 mil. m³.

Navrhovaná PVE je situována na levém břehu řeky Labe, nedaleko přívozu Vaňov. Tato lokalita je zvolena pro zajištění co nejmenší délky tlakového přivaděče. Stavba PVE je členěna na horní nádrž s vtokovým objektem, tlakový přivaděč s kabelovou chodbou a strojovnu (horní a spodní stavbu).

Horní nádrž je dimenzována podle objemu ovladatelného prostoru Střekovského zdymadla a při maximální provozní hladině 458,00 m n. m. její objem činí 3,79 mil. m³. Je umístěna v dolině mezi obcemi Stebno a Podlešín, které se nacházejí na náhorní planině s nadmořskou výškou cca 460 m n. m. Hráz je zemní sypaná a na její výstavbu bude využit materiál vytěžený při její výstavbě. Těsnicí část je tvořena hlinitou půdou, zatímco na stabilizační část jsou využity skalní a poloskalní horniny. Proti průsaku je na návodním líci asfaltobetonové těsnění. Koruna hráze je široká 7 m a nachází se na ní zpevněná komunikace. Kvůli výstavbě nádrže je nutné udělat přeložku komunikace mezi obcemi Podlešín – Chvalov. Z přeložené komunikace je zajištěn příjezd na korunu hráze a ke strojovně vtokového objektu do tlakového přivaděče, který se nachází na severovýchodní straně nádrže.

Ze strojovny začínají tlakové přivaděče a kabelová chodba o průměru 4 m, který překovává výškový rozdíl 315 m a vzdálenost 948 m. Stěny přivaděče jsou tvořeny obezdívkou a opancérováním s proměnnou tloušťkou stěny. Kabelová chodba je pouze obezděna. Za vtokovým objektem dochází k oddálení osově vzdálenosti přivaděčů a kabelové chodby až na vzdálenost 20 m. Průměr ražené štoly je 6 m, začíná u paty vzdušního líce hráze a pod sklonem 45 % pokračuje až do hloubky 182,50 m n. m.

Kolenem o poloměru 200 m zde dochází k přechodu do dolní ležaté části se sklonem 2 %. Ve staničení 948 m končí tlakový přivaděč a začíná strojovna s turbínami.

Umístění strojovny s turbínami je uvažováno na břehu Labe, poblíž přívozu Vaňov, ve stávající průmyslové zóně. Přístup je velmi dobře zajištěn z hlavní ulice Pražská. V úrovni terénu se nachází správní budova, ve které je umístěn velín, kanceláře, sociální zařízení a dílny. Horní stavba strojovny je situována za správní budovou a nachází se v ní pouze dvounosníkový mostový jeřáb, montážní prostor a schodiště do spodní stavby strojovny. Po celém obvodu šachty se nachází ochoz o šířce 1,5 m, který zajišťuje přístup na druhou stranu šachty. Za horní stavbou jsou dva transformátory VVN a jeden transformátor pro vlastní spotřebu. Ve spodní stavbě strojovny se nachází čtyři soustrojí s Francisovými reverzními turbínami a na přítoku z přivaděčů jsou umístěny čtyři kulové rychlouzávěry. Přístup do spodních pater zajišťují schodiště po obou stranách budovy, která umožňují vstup do chodby vedoucí po celé délce stavby. Z této chodby je přístup k rozvodnám a ke dvěma schodištím a výtahu vedoucím až do nejnižšího patra strojovny, kde se nacházejí kužely savek a vstup do revizní šachty jímek. V jímkách jsou umístěny čerpadla a slouží k odvodnění přivaděčů a savek při jejich revizi. Půdorysný profil stavby je odvozen od rozměrů kulových rychlouzávěrů a spirály turbíny. Z důvodu zajištění potřebné sací výšky je osa turbíny přibližně o 25 m níže než je minimální hadina v jezové zdrži. Od turbíny je voda odváděna demontovatelným kuzelem savky, který přechází do zabetonované části savky a mění svůj průřez z kruhu na obdélník. Za přechodem je savka vybetonovaná a ústí v jezové zdrži s horní hranou 2,01 m pod hladinou minimální provozní hladiny, kvůli zabránění vzniku vtokových vírů. Vtok je zabezpečen proti vniknutí splavenin jemnými česlemi a jejich plocha je dimenzována na zajištění maximální rychlosti $1,2 \text{ m.s}^{-1}$. Česle jsou demontovatelné a je možné místo nich nasunout tabule provizorního hrazení. Jelikož turbína funguje v čerpadlovém i průtočném módu, neuvažuje se, že by často docházelo k jejich nadměrnému zanášení a není zde navržen čistící stroj. Na dělicích pilířích vtoku je položena nosná konstrukce mostu, která zajišťuje přístup k transformátorům za horní stavbou strojovny.

4.2. Členění stavby

Stavba je rozčleněna na tři soubory stavebních objektů a čtyři provozní soubory:

- SSO 01 – Horní nádrž a vtokový objekt
- SSO 02 – Tlakový přivaděč a kabelová chodba
- SSO 03 – Strojovna PVE

- PS 01 – Strojní část – Horní nádrž
- PS 02 – Elektročást – Horní nádrž
- PS 03 – Strojní část – Strojovna PVE
- PS 02 – Elektročást – Strojovna PVE

5. Popis stavebních částí PVE

5.1. SSO 01 – Horní nádrž a vtokový objekt

Horní nádrž je navržena mezi obcemi Podlešín a Chvalov na Podlešínské pláni, která se nachází v nadmořské výšce cca 460 m n. m. Hráz je zemní sypaná s těsnicí částí převážně tvořenou hlinitým materiálem vytěženým při její výstavbě. Vytěžené skalní a poloskalní horniny jsou použity na výstavbu stabilizační části. Těsnění návodního líce je zajištěno asfaltobetonovým těsněním. Pro lepší včlenění hráze do krajiny je vzdušní líc ohumusován a zatravněn. Pod hrází je drenážní vrstva, která je svedena do patního drénu se šterkopískovou filtrační vrstvou a drenážním potrubím DN500. Hráz je založena na skalnatém podloží.

Svah návodního líce je ve sklonu 1:2,75 až ke dnu nádrže. Pod patou svahu se podél celé nádrže nachází revizní chodba, do které jsou svedeny případné průsaky. Koruna hráze je široká 7 m a je umístěna na kótě 460,00 m n. m. Na vzdušní straně je sklon svahu 1:2 až na kótu 446,00 m n. m. a zde se nachází lavička, o šířce 7 m, s odvodňovacím příkopem. Od něj je sklon svahu až k původnímu terénu zvýšen na 1:2,75 a v jeho patě se nachází odvodňovací příkop. Šířka těsnicí části je pod korunou taktéž 7 m a její sklon je 1:1.

Nádrž má dno členěno ve dvou výškových úrovních. Na jihozápadní straně nádrže je umístěn sjezd, se sklonem 1:10, na horní dno nádrže, které je umístěno na kótě 442,00 m n. m. Přibližně v polovině nádrže je dno svahováno se sklonem 1:10 až na kótu 432,00 m n. m. Zde je v severovýchodní části nádrže umístěn vtokový objekt tlakových přivaděčů.

Vtok je na asfaltobetonové těsnění napojen zavazovacími křídly a jeho dno klesá, ve sklonu 1:5 až na kótu 430,09 m n. m., kde se nachází 1 m vysoký práh. Na prahu jsou pod sklonem 70 % osazeny jemné česle, jejichž vrchní část je opřena o horní hranu vtoku k přivaděčům. Vtok je samostatný pro každý přivaděč a jeho rozměry jsou (8,75 x 6,25) m. Díky tomu je zajištěna maximální rychlost na česlích $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Osová vzdálenost mezi vtoky je 12 m a jsou od sebe odděleny dělicím pilířem širokým 5,75 m. Za česlemi se horní hrana a boční stěny vtoku zužují a po vzdálenosti 14,25 m přechází na kruhový průřez o průměru 4 m. Přibližně v polovině zúžení jsou osazeny drážky provizorního hrazení. Přístup k nim je zajištěn z horního dna nádrže po 7 m široké lavičce. Za drážkami

provizorního hrazení se nachází přechodový kus na kruhové potrubí, které vede ve sklonu 5 % ke strojovně s tabulovými uzávěry. Před strojovnou je přechodový kus na obdélníkový profil.

Budova strojovny má rozměry (28 x 12) m a přístup do ní je zajištěn z koruny hráze. V místě strojovny je koruna hráze rozšířena na 26 m a je tak zajištěn dostatečný prostor pro pohyb manipulační techniky. V horní stavbě je montážní prostor a jeřáb pro manipulaci při montáži a demontáži uzávěrů. Z horní stavby je schodištěm zabezpečen přístup do spodní stavby až na kótu 436,24 m n. m. Mezi potrubím se nachází schodiště, po kterém se dá sestoupit až na kótu 428,19 m n. m., kde je umístěno dno potrubí a přístup do kabelové chodby.

5.2. SSO 02 – Tlakový přivaděč a kabelová chodba

Dopravu vody z horní nádrže k turbínám zajišťují podzemní tlakové přivaděče se světlym průměrem 4 m. Délka přivaděče činí 949 m. Souběžně s přivaděči vede kabelová chodba o stejném průměru 4 m. Přivaděče i kabelová chodba jsou umístěny v ražených štolách s průměrem 6 m. Štoly přivaděčů jsou obezděny a opancérovány, zatímco kabelová chodba je pouze obezděna. Osová vzdálenost štol činí 20 m.

Zaústění z horní nádrže do tlakového přivaděče je na kótě 428,19 m n. m. Horní ležatá část je skloněna o 10 % a po délce 42 m, s poloměrem kolena 50 m přechází do úklonné části se sklonem 45 %. Takto je překonán výškový rozdíl téměř 290 m a přivaděč přechází kolenem o poloměru 200 m do dolní ležaté části se sklonem 2 %. Po 500 m je přivaděč rozdělen kalhotovým kusem na dvě samostatná potrubí s průměrem 3,45 m.

5.3. SSO 03 – Strojovna

Budova strojovny je situována na levém břehu řeky Labe v lokalitě přívozu Vaňov. Konstrukčně je rozčleněna na horní a spodní stavbu. Horní stavba je rozdělena na správní budovu a horní stavbu strojovny.

Správní budova má rozměry (46,70 x 7,30) m, přičemž jednu její stěnu tvoří stěna horní stavby strojovny, se kterou sousedí. V budově je umístěn velín spolu s kanceláři a sociálním zařízením. Dále se zde nachází prostory dílen a sklad. Ze správní budovy je zajištěn přístup do montážního prostoru ve strojovně a také na ochoz ve východní části budovy. Za horní stavbou strojovny, ve výšce 145,27 m n. m., jsou umístěny dva transformátory VVN a jeden transformátor pro vlastní potřebu.

Horní stavba strojovny s rozměry (57,70 x 17,40) m je konstrukčně řešena jako průmyslová hala a nachází se v ní pouze montážní prostor (11,80 x 16,20) m a dvounosníkový mostový jeřáb, pro montáž a demontáž jednotlivých kusů soustrojí, jehož nosnost je dimenzována na největší kus soustrojí, kterým je motorgenerátor. Jelikož se zároveň jedná i o největší zařízení ve strojovně, je podle něj dimenzována i výška horní stavby strojovny, která činí 16,14 m.

Z montážního prostoru, který je, stejně jako podlaha správní budovy, na kótě 142,60 m n. m., je schodištěm zajištěn přístup do chodby pod transformátory. Tato chodba má na délku 45,60 m, prochází po celé délce spodní stavby strojovny a je z ní zajištěn přístup do rozvoden a také k výtahu a dvěma schodištím, kterými je možno dostat na všechna spodní patra strojovny. Vnitřní rozměr spodní stavby, odvozeny podle rozměrů savek turbíny a kulových rychlouzávěrů, je (44,40 x 14,60) m. Vnější rozměr je výrazně větší, neboť na severní straně budovy se nachází vyústění savek do vodního toku, v nejširším místě činí (44,40 x 30,20) m. Podlaží strojovny se nachází na kótě 126,60 m n. m., což je o 16,00 m níže než horní stavba strojovny, a je zde vyčleněn malý montážní prostor o přibližných rozměrech (6,00 x 6,00) m a také výklenky ve stěně, kterými vedou kabely od motorgenerátorů k rozvaděčům a dále k trafostanicím umístěným za budovou horní stavby. Na severní straně je také umístěno jedno schodiště vedoucí do spodního patra s kulovými rychlouzávěry. Přístup k motorgenerátorům je z podélné chodby, která je na kótě 120,50 m n. m. Každý motorgenerátor je umístěn v samostatné šachtě s kruhovým půdorysem o poloměru 7,60 m. Tato chodba také zajišťuje přístup do kabelové chodby, která vede mezi přivaděči až k horní nádrži. O patro níže se na kótě 116,90 m n. m. nachází téměř identická chodba, která zajišťuje přístup na podlaží turbín. Na kótě 112,20 m n. m. je podlaží savek a jsou zde umístěny kužely savek, kulové rychlouzávěry a poklop v podlaze zakrývající přístup do místnosti s uzávěry vypouštěcího potrubí a k jímkám technologické vody, jejichž dna jsou na kótě 107,60 m n. m. Jímky technologické vody jsou dvě, každá o objemu 96,80 m³, a v případě nutnosti přes ně čerpadlem probíhá vypouštění tlakových přivaděčů a savek. Přístup ke kuželům savek je ze dvou chodeb, které vedou mezi turbínami. Těmito chodbami také probíhá demontáž kuželů savek. Za kuzelem savek je přechodový kus z kruhu na obdélník, který je zabetonován v podlaze. Za ním je savka betonová. V prvním zaoblení se její průtočná plocha zvětšuje z 6,50 m² na 14,58 m² a směřuje kolmo vzhůru. Na kótě 128,30 m n. m. dochází ke druhému zaoblení a rozšíření průtočné plochy na 31,25 m², savka je zde zaústěna do toku řeky Labe. Rozměry vtoku jsou (5,83 x 5,36) m a její horní hrana je na kótě

138,39 m n. m., což je 2,01 m pod minimální provozní hladinou, a je tak zajištěno dostatečné ponoření vtoku pro zabránění vzniku vtokových vírů. Vtok je před vniknutím splavenin osazen jemnými česlemi a při maximálním průtoku na nich dochází k maximální rychlosti $1,2 \text{ m.s}^{-1}$. U česlí se nenachází žádný čistící stroj a je uvažováno, že při turbínovém provozu dojde k jejich pravidelnému čištění. Při nadměrném zanesení je možné jejich vytažení pomocí pohyblivého jeřábu. Do stejných drážek je možné umístit provizorní hrazení pro úplné zahrazení vtoku. Každý vtok má vlastní sadu provizorního hrazení, které se sestává ze dvou tabulí o rozměrech (2,90 x 6,00) m, a je uložena v prostoru nad vtokem. Vniku splavenin sunutých po dně zabráňuje vtokový práh vysoký 1,00 m. Za ním se dno vtoku zvedá se sklonem 1:5, až na kótu dna 133,11 m n. m. Dno za vtokem je opevněno kamenným záhozem s kameny o minimální váze 500 kg. Mezi jednotlivými vtoky se nachází 5,97 m široké dělicí pilíře s horní hranou na kótě 144,07 m n. m a vybíhá až do vzdálenosti 3,50 m od vtoku. Na dělicích pilířích je umístěna mostovka o šířce 3,00 m, která rozšiřuje prostor nad vtokem na 6,93 m a zajišťuje dostatečnou šířku pro příjezd nákladního automobilu k transformátorům. Jsou zde umístěny dva blokové transformátory, které zabírají prostor (9,20 x 13,40) m, a jeden menší generátor sloužící pro vlastní spotřebu elektrárny (4,62 x 6,02). Transformátory jsou od sebe odděleny příčkami o tloušťce 0,60 m.

6. Popis technologických částí PVE

6.1. PS 01 – Strojní část – Horní nádrž

Ve strojovně přivaděčů jsou umístěny dvě dvojice tabulových uzávěrů, které hradí vtoky o rozměrech (4 x 4) m. V horní stavbě strojovny přivaděčů se nachází mostový jeřáb, sloužící k manipulaci při montáži a demontáži tabulových uzávěrů.

Vtok k tlakovým přivaděčům je osazen jemnými česlemi o rozměrech (8 x 6,25) m. Česle jsou pod úhlem 70 % opřeny o horní hranu vtoku.

V prostoru nad vtokem jsou umístěny dvě tabule provizorního hrazení o rozměrech (3 x 6,4) m, kterými je možné v případě nutnosti vtok zahradit. Pro manipulaci je potřeba autojeřábu a částečného vypuštění nádrže alespoň na kótu 441,50 m n. m.

6.2. PS 02 – Elektročást – Horní nádrž

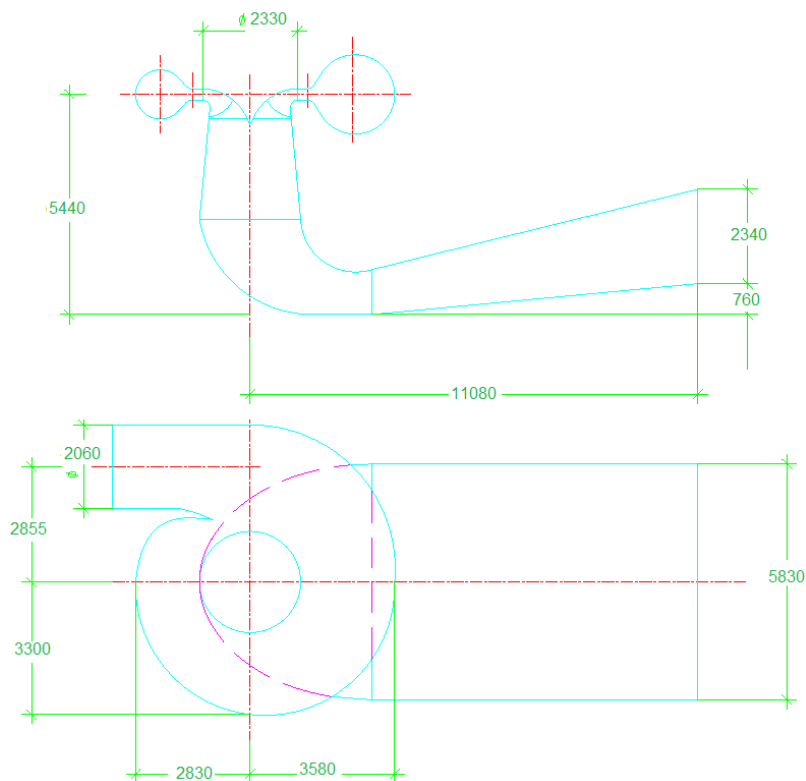
Kabelové vývody jsou z kabelové chodby vedeny pod úroveň terénu mezi tělesem hráze a přeloženou komunikací až do rozvodny, nacházející se na jižní straně horní nádrže. K rozvodně je vedena přeložená komunikace a je u ní i sjezd z koruny hráze.

6.3. PS 03 – Strojní část – Strojovna PVE

Ve strojovně budou osazeny čtyři soustrojí Francisovy reverzní turbíny s průměrem oběžného kola 2,33 m. Montáž a demontáž oběžného kola turbíny probíhá přes prostor s kuželem savky. Kužel musí být nejprve odmontován.

Tab. 6 Parametry jedné čerpadlové turbíny Francis se spirální skříní a kolenovou savkou

Průměr oběžného kola D_{OK}	2,33 m
Specifické otáčky n_s	144 min^{-1}
Sací výška H_s	-25 m
Počet otáček	545 min^{-1}
Čerpadlo	
Jmenovitý průtok	31,25 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Účinnost η_H	90,1 %
Čistý spád H_n	330 m
Příkon na hřídeli čerpadla	112 MW
Turbína	
Jmenovitý průtok	37,5 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Minimální průtok	18 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Účinnost η_H	91,3 %
Čistý spád H_n	287 m
Výkon na hřídeli turbíny	96 MW



Obr. 3 Schéma základních rozměrů turbíny^[1]

Kulový rychlouzávěr se jmenovitou světlostí 3,36 m je umístěn těsně před spirálou turbíny. Při plném otevření zajišťuje minimální ztráty na přítoku a jeho ovládání je zajištěno jedním hydromotorem.

Spirála turbíny je určena k přivedení a rovnoměrnému rozdělení průtoku na oběžné kolo turbíny. Rozváděcí kolo je tvořeno jednolitým ocelovým kusem a spirála je tvarována ze svařených plechových segmentů.

Kovový kužel savky je z důvodu snadnější demontáže rozdělen na dva kusy a není zabetonován. Přístup k němu je zajištěn z chodby v podlaží savek. Zbýlá část savky, která slouží ke změně kruhového průřezu na obdélníkový je již zabetonována.

V prostoru nad každou savkou jsou uloženy dvě tabule provizorního hrazení o rozměrech (2,90 x 6,00) m, kterými je možné vtok savek zahradit. Je zde i volné místo pro uložení jemných česlí, které jsou standardně umístěny v drážkách na vtoku. V případě nutnosti vtok zahradit je nutné jemné česle vytáhnout. Nad česlemi a tabulemi provizorního hrazení je umístěn jeřáb.

Mostový jeřáb slouží k manipulaci s motorgenerátorem, kulovým rychlouzávěrem a dalším těžkým zařízením ve strojovně. Je dimenzován podle nejtěžšího zařízení ve strojovně, což je motorgenerátor.

6.4. PS 04 – Elektročást – Strojovna PVE

Elektrická energie je generována vertikálními, reverzibilními, synchronními, trojfázovými motorgenerátory. Každý je umístěn v samostatné šachtě o průměru 7,6 m a přístup je zajištěn chodbou. Vinutí statoru je chlazené vodou a rotor je ochlazován vzduchem. Maximální výkon elektrárny je 4 x 96 MW, což dohromady činí 386 MW.

Zapouzdřené vývody slouží k vedení napětí mezi motorgenerátorem a transformátorem. Od motorgenerátoru pokračují vzhůru výklenkem ve stěně až do rozvodu a poté k transformátoru za budovou. Ve vodičích se také nacházejí měřicí transformátory napětí a proudu, zajišťující ochranu motorgenerátoru a transformátoru.

Blokové transformátory jsou umístěné v zadní části horní stavby, přímo nad savkami a slouží pro přeměnu elektrického napětí. Při turbínovém režimu dochází k přeměně z 22 kV generovanými motorgenerátory na 400 kV. Při čerpadlovém režimu je proces opačný – ze sítě je odebíráno napětí 400 kV a transformuje se na 22 kV. Pod transformátory se nachází olejové jímky se šterkem. Samotné transformátory jsou umístěny na kolejnicích, které zajišťují jejich snadnější manipulaci, a jsou od sebe odděleny příčkami. Kvůli jejich ochraně před povodňovými průtoky jsou umístěny na kótě

156,43 m n. m, které zajišťuje dostatečnou výšku 1,00 m nad hladinou povodně z roku 2002.

Rozměry transformátoru určeného pro vlastní spotřebu jsou (4 x 3 x 5) m a zajišťuje přeměnu napětí 22 kV na 10,5 kV pro zásobení elektrárny elektrickou energií. Je umístěn vedle transformátoru pro VVN a je od něj oddělen příčkou.

Kabelové vývody slouží k vyvedení výkonu z PVE do rozvodny, která se nachází u horní nádrže. Kabely jsou vedeny po jedné straně kabelové chodby.

7. Závěr

Byla zpracována situace přečerpávací vodní elektrárny Podlešín, na řece Labi v ř. km 769,179. Návrh se skládá z horní nádrže s vtokovým objektem, tlakového přivaděče a kabelovou chodbou a strojovny PVE se čtyřmi Francisovými reverzními turbínami. Hrubý spád dané lokality je 317 m a pro horní nádrž je možné využít objem jezové zdrže Střekov. Výkon elektrárny činí 386 MW.

Stavba PVE Podlešín se jeví jako technicky proveditelná.

V Brně dne

Martin Školník

.....

.....

8. Seznam tabulek

Tab. 1 Základní charakteristiky jezové zdrže při hydrostatické hladině ^[3]	14
Tab. 2 Významé údaje jezu Střekov ^[3]	15
Tab. 3 Základní údaje a kóty vodní elektrárny ^[3]	16
Tab. 4 Hodnoty m-denních průtoků v profilu jezu Lovosice ^[3]	17
Tab. 5 Hodnoty N-letých průtoků v profilu jezu Lovosice ^[3]	18
Tab. 6 Parametry jedné čerpadlové turbíny Francis se spirální skříní a kolenovou savkou	28

9. Seznam obrázků

Obr. 1 Graf m-denních průtoků	17
Obr. 2 Graf N-letých průtoků	18
Obr. 3 Schéma základních rozměrů turbíny ^[1]	28

10. Seznam příloh

- A. Průvodní a technická zpráva
- B. Hydraulické výpočty
- C. Fotodokumentace
- D. Výkresová dokumentace
 - 1 Situace širších vztahů (M 1:25000)
 - 2 Celková situace PVE (M 1:5000)
 - 3 Situace horní nádrže ((M 1:2500)
 - 4 Horní nádrž – Příčný řez tělesem hráze (M 1:500)
 - 5 Horní nádrž – Řez vtokovým objektem (M 1:500)
 - 6 Podélný profil přivaděčem (M 1:2500)
 - 7 Situace strojovny PVE (M 1:500)
 - 8 Strojovna PVE – Půdorysný řez A-A (M 1:200)
 - 9 Strojovna PVE – Podélný řez B-B (M 1:200)
 - 10 Strojovna PVE – Příčný řez C-C (M 1:200)